

Выхлопные газы от газовой турбины поступают в паровой котел-утилизатор, где охлаждаются в последовательно расположенных по ходу газов поверхностях нагрева до 200 °С.

Пар подается из пароперегревателя на дроссельные и запорные клапаны паровой турбины, а также через редукционно-охладительное устройство на деаэратор. Линия оборудована измерительными приборами расхода, давления и температуры и предохранительными клапанами, автоматическим сливом и запорным клапаном.

Затем пар попадает из турбины в конденсатор, где он конденсируется. Далее конденсат конденсатными насосами подается в подогреватель, где нагревается до требуемой температуры на входе в деаэратор. Конденсат после подогревателя также направляется в деаэратор. Питательная вода из деаэратора подается в барабан котла питательным насосом с одним резервным насосом.

Подпитка парового цикла предусматривается химочищенной водой, подаваемой в деаэратор и на РОУ. Химочищенная вода, кроме подпитки цикла, используется для подпитки замкнутого контура охлаждающей воды. Принципиальная схема ПГУ приведена ниже.

Оценка экономической эффективности инвестиций в проект показала, что дисконтированный срок окупаемости парогазовой установки мощностью 4,51 МВт составит 10 лет 9 месяцев.

Более удачной и экономичной, на наш взгляд, будет установка котла-утилизатора за газовой турбиной с выработкой пара для впрыска в камеру сгорания. Парогазовая установка с впрыском пара (ПГУ ВП) позволяет снизить температуру уходящих газов и увеличить работу турбины на 30 %, тем самым уменьшая расход топлива.

## **МЕТОДИКА ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ РЕШЕТКИ**

*Иконников И.С., Тупоногов В.Г.  
УрФУ, [ikonnikov.ustu@mail.ru](mailto:ikonnikov.ustu@mail.ru)*

В процессе разработки конструкции аппаратов с псевдооживленным слоем тип конструкции газораспределителя выбирается, как правило, по известным аналогам. При выборе типа конструкции определяется форма решетки и газораспределительного элемента, толщина решетки и длина газового канала в ней  $L$ . Основной задачей проектировщика является определение сопротивления решетки, достаточного для обеспечения качественного псевдооживления и надежной работы газораспределителя.

В рассматриваемой методике поверочного расчета выбранного типа конструкции колпачкового или соплового газораспределителя рассчитанные параметры обеспечивают равномерное псевдоожижение дисперсного материала по площади газораспределителя без провала частиц материала в подрешеточную камеру при рабочих скоростях псевдоожижения.

Расчет конструкции выполняется на основании следующих исходных данных:

- высота неожиженного (насыпного) слоя  $H_0$ ,
- порозность насыпного слоя  $\varepsilon_0$ ,
- диаметр и плотность частиц дисперсного материала  $d_s$  и  $\rho_s$  соответственно,
- рабочая скорость псевдоожижения  $W$ ,
- в первом приближении принимаем живое сечение решетки  $\varphi$ .

Последовательность расчета:

1. Теоретическое (среднее в пузырьковом режиме ожижения) гидравлическое сопротивление слоя  $\Delta P_b = \rho_H (1 - \varepsilon_0) H_0$ .

2. Сопротивление застойной зоны для используемого вида дисперсного материала определяется из выражения:

$$\Delta P_{dz}^0 = \frac{\Delta P_b d_o}{4 H_0 \varphi} \left( 1 - \frac{7}{3} \sqrt{\varphi} \right).$$

3. Гидравлическое сопротивление решетки

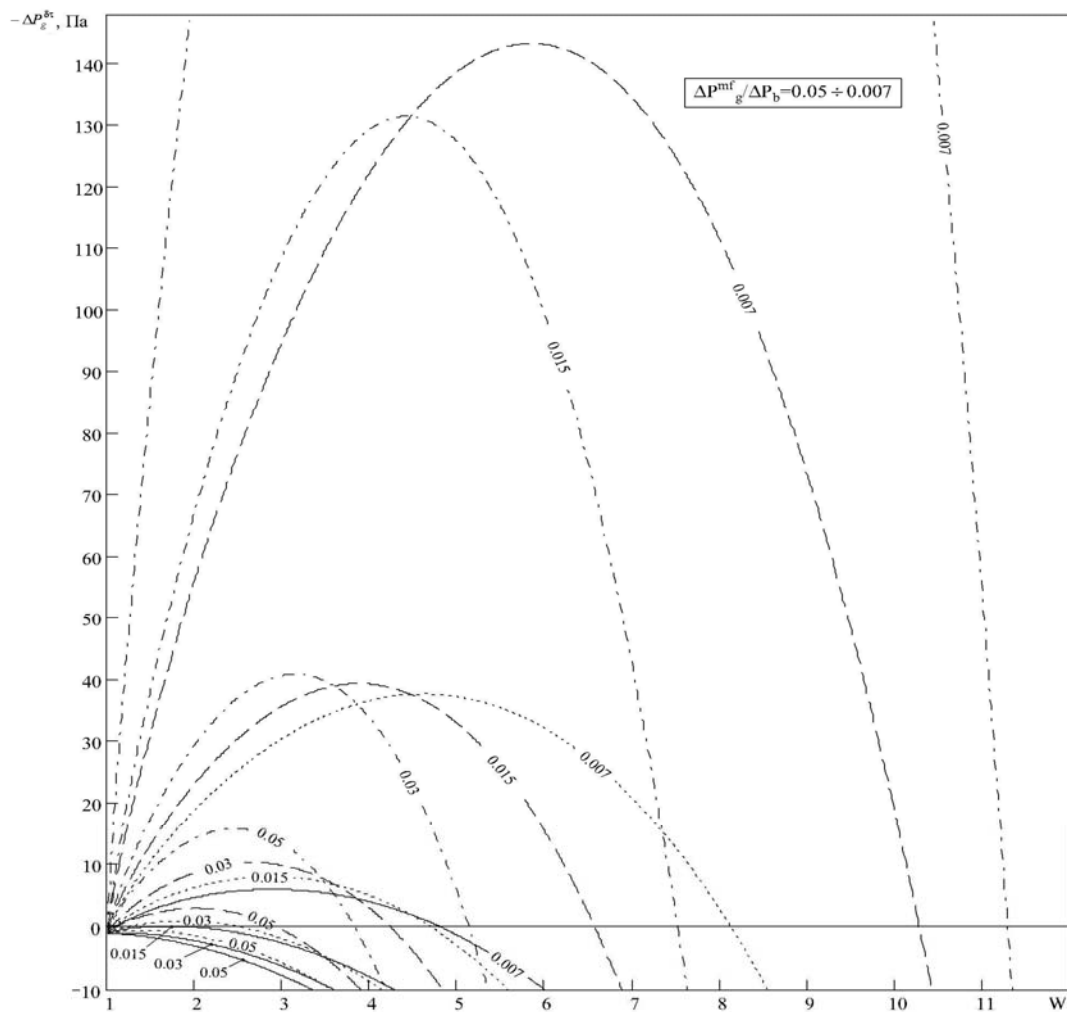
$$\Delta P_g^{mf} = \frac{\zeta_g \rho_g u_{mf}^2}{2 \varphi^2}.$$

4. Определение безразмерной скорости полного псевдоожижения

$$W_G = \sqrt{1 + \frac{\Delta P_{d.z.}^0}{\Delta P_g^{mf}}}.$$

5. Определение сопротивления решетки  $\Delta P_g$  при рабочей скорости псевдоожижения  $W > W_G$ :  $\Delta P_g = W^2 \Delta P_g^{mf}$ .

6. Проверка конструкции газораспределителя на возможность провала частиц дисперсного материала в подрешеточную камеру.



Зависимость отрицательных перепадов давления на газораспределительной решетке от скорости псевдоожижения.

$P_l / \Delta P_b = 1,5$ ; цифры на кривых — значения  $\Delta P_g^{mf} / \Delta P_b$ ;

$P_l$  — давление перед входным вентилем подрешеточной камеры

_____	$\rho_s (1 - \varepsilon_0) w_{mf}^2 / \Delta P_b = 10^{-4}$
—	$10^{-3}$
.....	$10^{-2}$
- - - - -	$10^{-1}$
_____	

Составлена функция безразмерных комплексов, определяющая значение перепада давления на газораспределительной решетке  $P_0$  и в подрешеточной камере  $P_{wb}$  при совпадении противоположных максимальных амплитуд колебаний:

$$F\left(\frac{\Delta P_b}{\Delta P_g^{mf}}, \frac{\rho_s u_{mf}^2}{\Delta P_b}, \frac{P_l}{\Delta P_b}, W\right) =$$

$$= 1,5 \frac{\Delta P_b}{\Delta P_g^{mf} W^2} \left( \frac{\rho_s^{mf} u_{mf}^2}{\Delta P_b} \right)^{0,42} (W-1)^{0,84} \left\{ 1 + \frac{1}{\left[ \left( \frac{P_l}{\Delta P_b} - 1 \right) \frac{\Delta P_b}{\Delta P_g^{mf} W^2} - 1 \right]^{-1} + 1} \right\} - W^2.$$

Для беспровальной работы газораспределителя необходимо выполнение условия:  $F\left(\frac{\Delta P_b}{\Delta P_g^{mf}}, \frac{\rho_s u_{mf}^2}{\Delta P_b}, \frac{P_l}{\Delta P_b}, W\right) \leq 0$ . Таким образом, с помощью рис. 1 можно определить интервалы  $W$ , при которых частицы не будут проваливаться в подрешеточную камеру. Например, при  $\rho_s(1-\varepsilon_0)w_{mf}^2 / \Delta P_b = 10^{-4}$  и  $\Delta P_g^{mf} / \Delta P_b = 0,007$  частицы не будут проваливаться при  $W \geq 4,9$ , а при  $W \leq 4,9$  наблюдается провал частиц в подрешеточную камеру.

7. Определение глубины проскока частиц в газораспределительный элемент  $l$ .

Глубина проникновения частиц внутрь газового канала длиной  $L_0$  газораспределительного элемента рассчитывается по формуле:  $l = \frac{36\mu P'}{\rho_s \rho_g d_s^2 \omega'^3 L_0} [\pi^2 - 4]$ . Полученная расчетная величина не должна превышать длину канала:  $l < L_0$ .

Если при принятом значении  $\Delta P_g^{mf}$  исключить провал не удастся ( $l > L_0$ ), тогда неизбежно следует увеличение сопротивление решетки  $\Delta P_g^{mf}$  (уменьшением  $\varphi$ ) и повторная проверка возможности провала частиц.

8. Определение шага между газораспределительными элементами  $s_g$  и их количества  $N$ .

По нашим данным, должно выдерживаться соотношение:

$$L_j \cong (0,3-0,4) s_g, \text{ т.е. } s_g = \frac{L_j}{0,35}.$$

Длина факела горизонтальной струи  $L_j$  определяется по эмпирической формуле:

$$\frac{L_j}{d_0} = 5,2 \left( \frac{\rho_g d_0}{\rho_s d_s} \right)^{0,3} \left\{ 1,3 \left( \frac{u_{of}^2}{g d_0} \right)^{0,2} - 1 \right\}.$$

Выбрав величину шага  $s_g$ , далее колпачки размещаются на решетке, и определяется число колпачков  $N$ . Затем рассчитывается число отверстий в колпачке  $n_c = 4\varphi F_b / \pi d_0^2 N$ .

Данная методика позволяет определить параметры газораспределительной решетки без перерасхода энергии на сжатие газа.